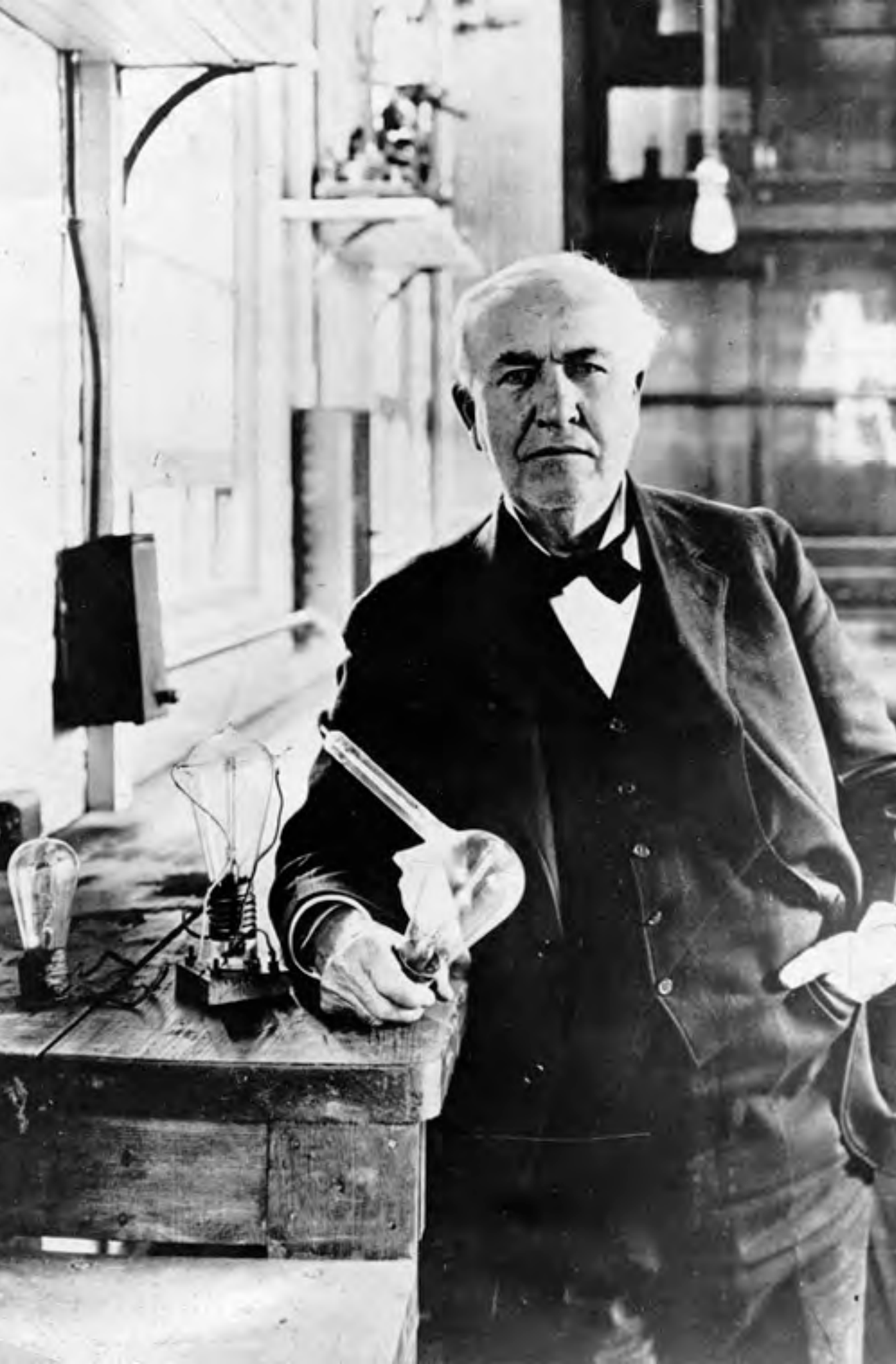




# 전기로 온 세상을 밝히다

---

토머스 에디슨 vs. 니콜라 테슬라



## 전구의 발명가, 에디슨?

.....

- ▶ 영국의 조지프 스완은 1년 전에 특허 출원.
- ▶ 스완과 에디슨 이전에도 많은 사람들이 전구 발명
- ▶ 그렇다면 왜 우리는 에디슨“만” 전구의 “발명가”로 기억할까?



에디슨의 전구  
1880.1.27 특허



## 에디슨의 전구

.....

- ▶ 저렴한 가격
- ▶ 오랜 수명
- ▶ 높은 효율

전기가 공급되어야!

이 백열등을 사서 집에 켜고 싶다면?





# 에디슨은 시스템 구축가

.....

- ▶ 에디슨은 아래의 시스템을 개념적으로 발명하고, 실제로 구축하여 상업적인 성공을 거두었다.
- ▶ 중앙 발전소로부터 공급되는 전기를 이용해 모든 가정에 저렴한 조명을 밝히는 시스템
- ▶ 시스템적 사고의 필요성
  - ▶ 성능 및 경제성의 비교는 시스템 사이에서만 가능
  - ▶ 좋은 구성 요소를 모아 놓는다고 좋은 시스템이 되진 않음



## 가스등 켜는 사람

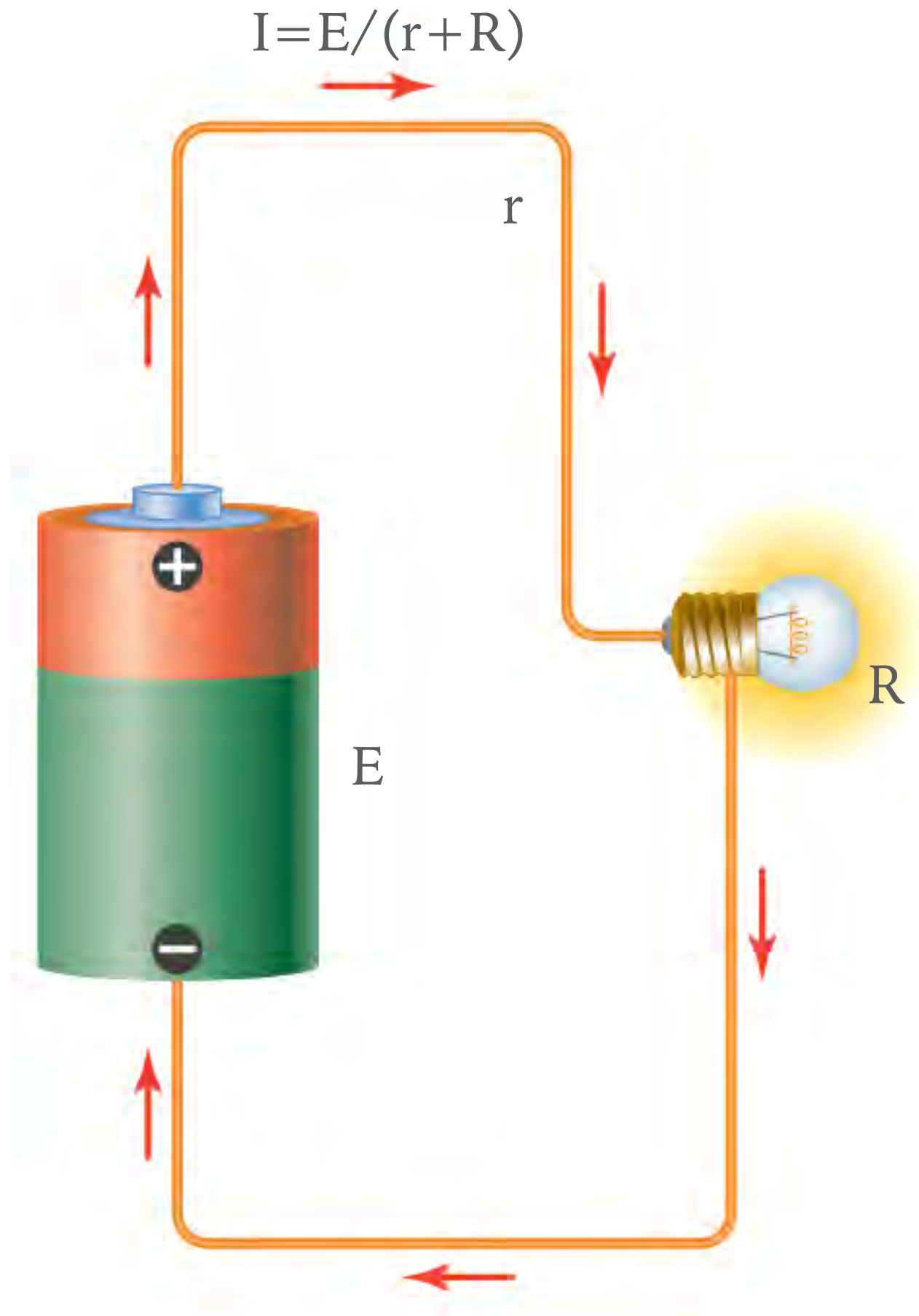


## 송전 도선 매설 작업

에디슨의 전체 시스템 중 가장 비싼 부분을 차지.







## 에디슨 시스템의 핵심 과제

- ▶ 도선이 길어질수록 도선의 저항이 증가하면서, 도선에서 소모되는 전력은 증가하고 전구에 공급되는 전력은 줄어든다.
- ▶ 도선에서 소모되는 전력 =  $I^2 r$
- ▶ 전구에 공급되는 전력 =  $I^2 R$
- ▶ 해법은?
  - ▶ 도선의 저항을 줄이는 방법 : 굵은 도선 사용 → 비용 증가
  - ▶ 도선에 흐르는 전류를 줄이는 방법 : 고저항 전구를 만들자!



## 고저항 전구

.....

- ▶ 도선에 흐르는 전류를 낮출수록 손실되는 에너지 절감. 이를 위해서는 전구의 저항을 높여야!
- ▶ 1A-100  $\Omega$  -100V의 기준이 실제 개발에 앞서 제시됨
- ▶ 탄소 필라멘트로 구현
- ▶ 도선 비용, 소비 효율, 전구 밝기 문제를 한꺼번에 해결



# 에디슨 시스템의 다른 과제들

---

- ▶ 발전기의 용량은 어떻게 결정할 것인가?
  - ▶ 전구의 소비 전력과 발전기의 공급 전압, 전구의 수 고려해야
- ▶ 전기 조명이 어떻게 독립적으로 작동하게 할 수 있을까?
- ▶ 전기요금은 어떻게 책정해야 알맞을까?
  - ▶ 전체 시스템의 총 비용과 경쟁 시스템의 비용을 고려해야
- ▶ 투자자와 소비자를 어떻게 끌어모을 것인가?
  - ▶ 전기라는 새로운 조명 장치의 현대적인 면모 강조



## 시스템 작동을 위한 조직들

.....

- ▶ 에디슨 전등 회사 : 재정 충당 및 발명, 특허 관리
- ▶ 뉴욕 에디슨 전기 조명 회사 : 중앙발전소 설비
- ▶ 에디슨 기계 회사 : 발전기 생산
- ▶ 에디슨 전기 튜브 회사 : 송전 케이블 생산
- ▶ 에디슨 전구 회사 : 백열등 생산
- ▶ 먼로 파크 연구소 : 개발 및 시스템의 문제 해결

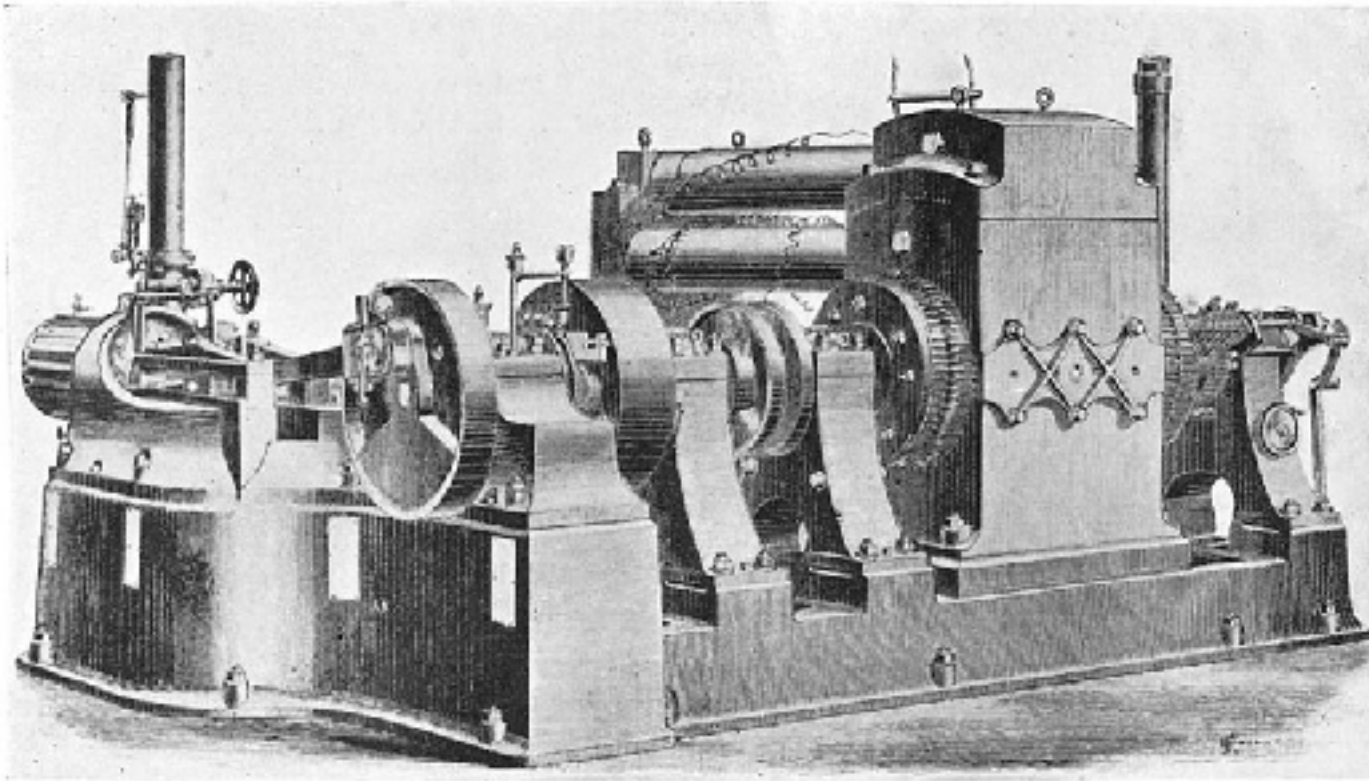


1882년 9월 4일, 뉴욕  
도심의 백열등 고객들을  
위해 전기를 공급하기 시  
작한 펄 거리 발전소

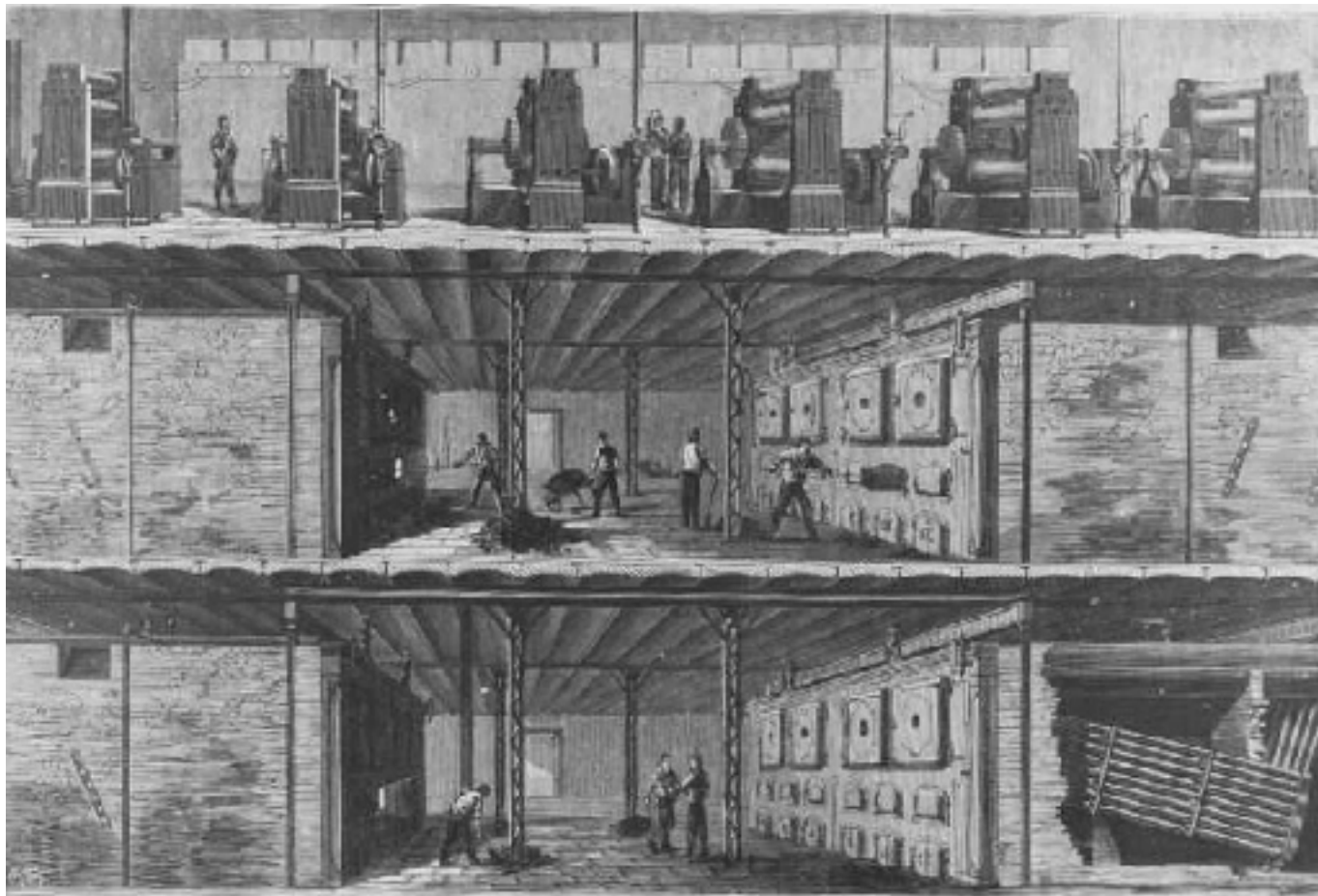
## 에디슨의 전기 조명 시스템

- ▶ 에디슨은 백열등 하나만 발명한 것이 아니라, 아래의 구성 요소로 이루어진 전기 조명 시스템 전체를 개발한 것
  - ▶ 110V 직류 발전
  - ▶ 병렬 배전 및 지하 송전
  - ▶ 백열등 조명
  - ▶ 계량 및 전기요금 징수



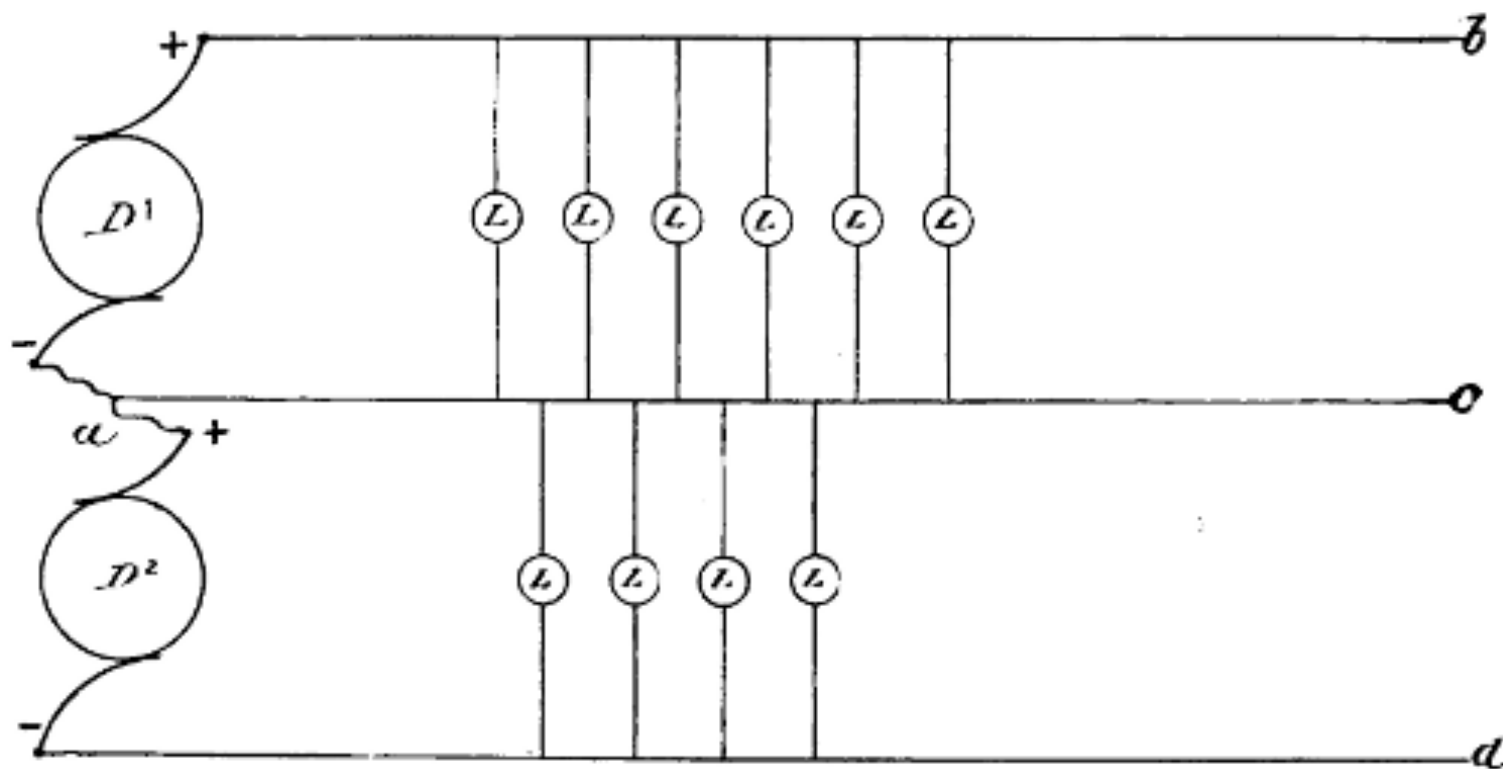


한꺼번에 1200개에 달하는 백열등을  
켜 수 있는 100kW-110V 직류 점보  
발전기



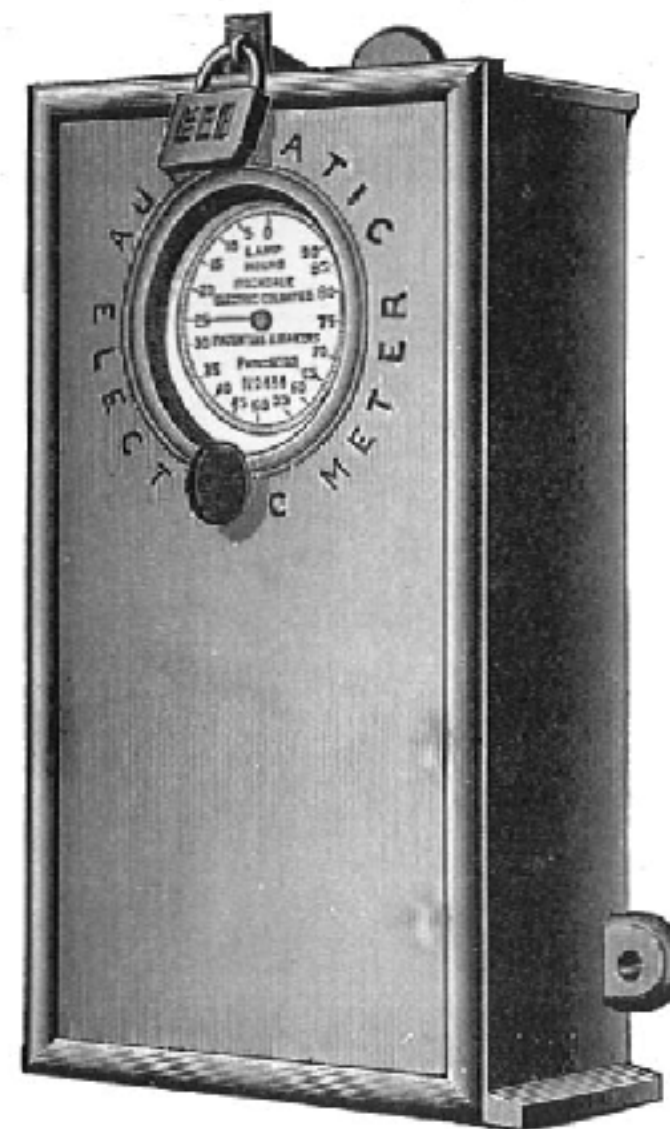
1884년, 발전소에서 생산된 전기는  
508명의 고객이 가진 10,164개의  
백열등을 동시에 밝힘





수많은 백열등을 고객 맘대로 따로  
따로 작동할 수 있는 병렬 배전

[3선 배전 사용]



계량기를 이용한 전기 요금 청구

This Room Is Equipped With  
Edison Electric Light.

Do not attempt to light with  
match. Simply turn key  
on wall by the door.

---

The use of Electricity for lighting is in no way harmful  
to health, nor does it affect the soundness of sleep.





## 전기 조명의 시장 확대

.....

- ▶ 처음엔 극장과 같은 실내 조명 등의 틈새시장에서 시작
- ▶ 이후 가스와 정면으로 맞섬
- ▶ 전기 조명의 ‘현대성’ 부각
  - ▶ 안전하고 깨끗한 전기 조명
  - ▶ 현대적인 전기 vs. 구시대적인 가스
- ▶ 1887년이 되면 미국에는 121개의 에디슨 발전소가 만들어져 고객들에게 직류 전기 공급



# 1887년 경복궁에 설치된 발전소와 전등

128년 전 경복궁 첫 발전소 터 찾았다



▶ ⏮ 🔊 0:46 / 1:34

CC HD





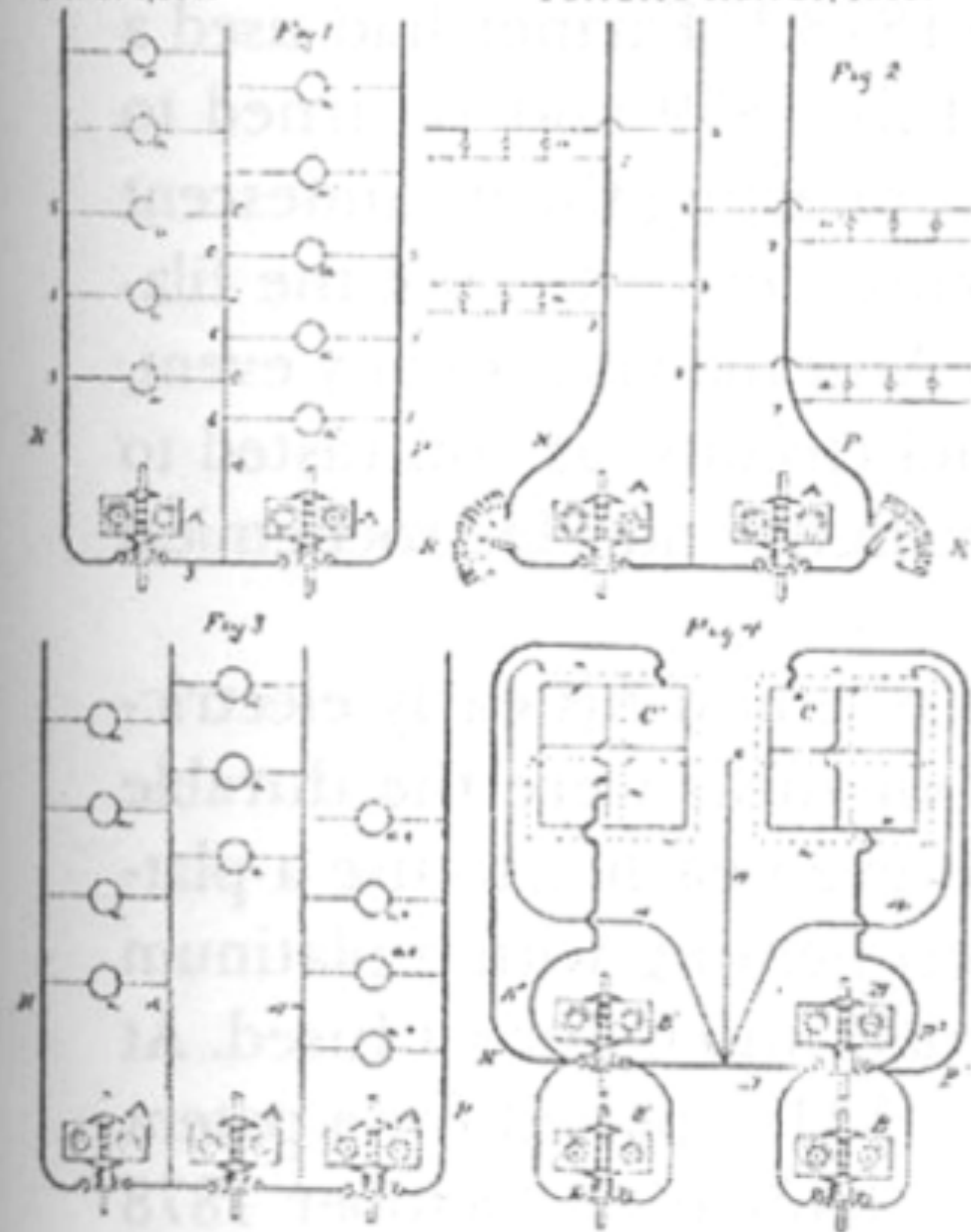
## 에디슨 시스템의 한계

.....

- ▶ 에디슨의 첫 직류 발전소가 전기를 공급한 곳은 뉴욕 맨해튼의 극히 일부 지역
- ▶ 낮은 전압(100V)의 에디슨 시스템은 송전 중 열로 손실되는 에너지가 많아 장거리 송전 불가능
- ▶ 에디슨 전기 조명을 사용하려면 1~2km마다 발전소를 지어야!

No. 274,200.

Patented Mar. 20, 1883.



ATTEST:

E. C. Kinsland

W. W. Kinsland

INVENTOR:

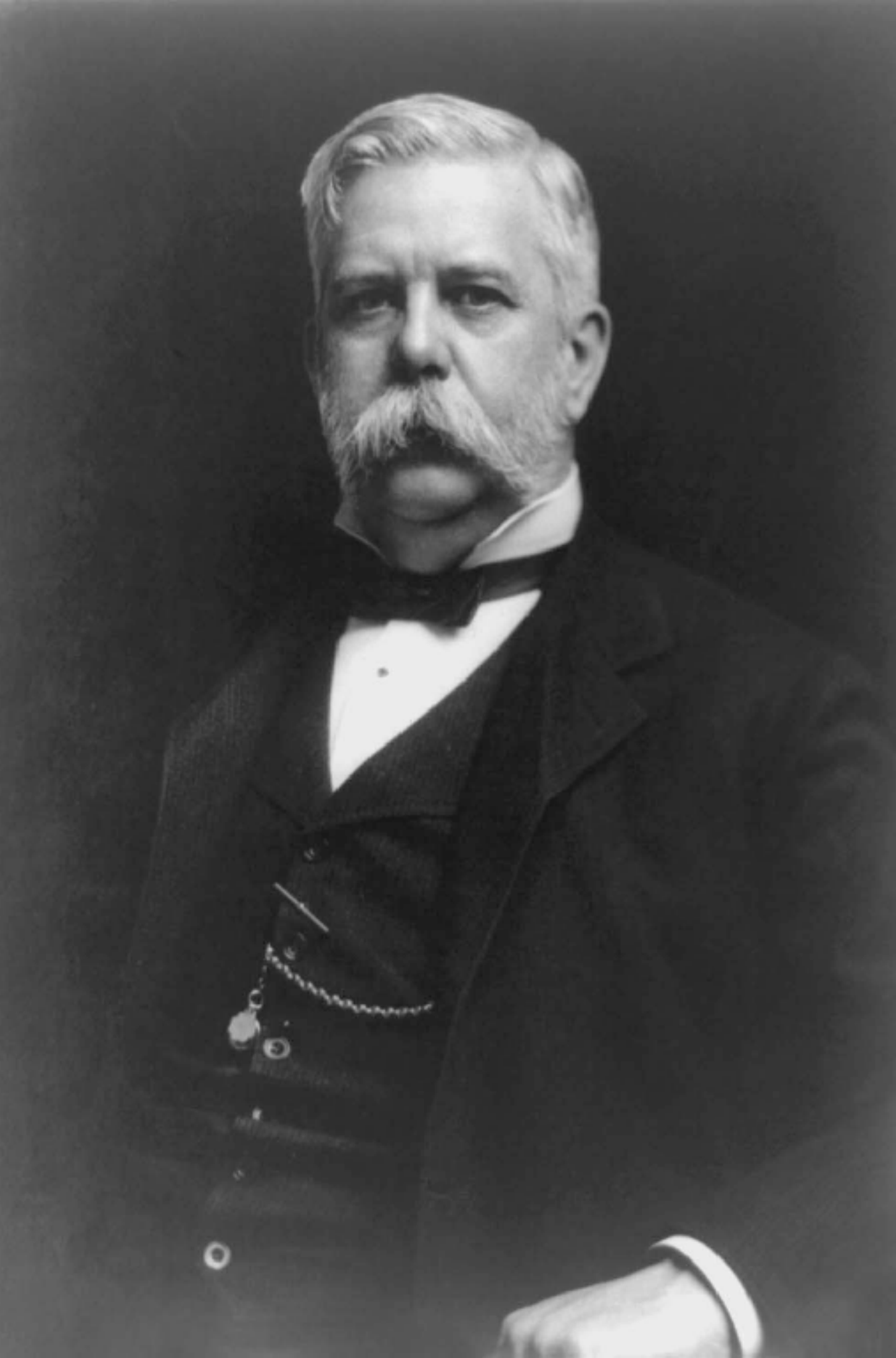
Thomas A. Edison

S. W. Kinsland

## 보수적 해결책 : 다선 배선

- .....
- 1883년 3월에 특허 출원
- 3선, 4선, 5선 배선 ..
  - 중간 도선에 흐르는 전류 줄임
  - 가는 도선 사용 가능케 해줌
- 이런 방식으로는 송전 전류를 획기적으로 줄이는 것 불가능.





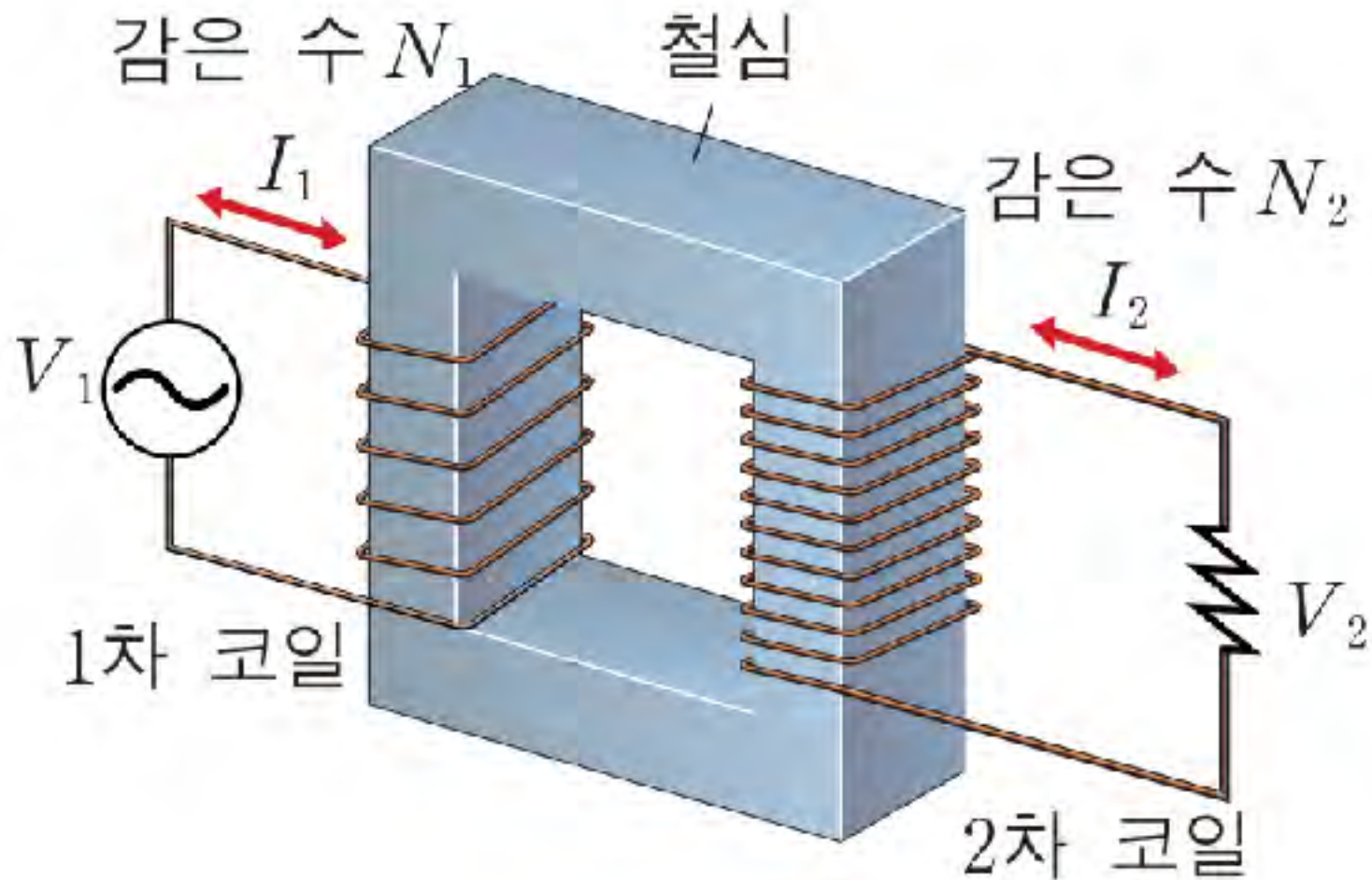
## 조지 웨스팅하우스

.....

- ▶ 미국의 발명가 겸 사업가
- ▶ 공기 브레이크 사업으로 얻은 돈을 교류 시스템에 투자
- ▶ 교류 발전기(지멘스)와 변압기(골라르드-기브스)를 수입하고, 테슬라를 비롯한 연구진과 협력하여 교류 시스템의 수준 발전시킴
- ▶ 1886년 웨스팅하우스 전기회사 설립하고 테슬라의 교류 전동기 특허 구입하여 교류 시스템의 기술 선점
- ▶ 왜 교류 시스템에 투자했을까?
  - ▶ 교류 시스템은 변압기를 이용한 고압(저전류) 송전 가능!

# 변압기의 원리

---



철심에 두 개의 코일을 감은 단순한 장치인 변압기는 교류 전기의 전압과 전류를 자유자재로 바꾸어준다.

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$



# 파격적 해결책 : 고압 송전을 통한 장거리 송전

---



송전선에서 열로 손실되는 에너지를 획기적으로 줄일 수 있음



Fig. 3. Experiments in killing animals using ac in the Edison Laboratory at Orange, NJ. December 5, 1888 [Burndy Library].



# 전류 전쟁

- ▶ 에디슨의 공격
  - ▶ “교류 전류는 살인 전류!”
  - ▶ 말을 이용한 실험(1888)
  - ▶ 교류를 이용한 전기 의자 도입
  - ▶ “Kemmler Westinghoused” (1890. 8. 6)

- ▶ 왜 이러한 공격을?
  - ▶ 시스템은 기존에 투자된 것들(자본/인력/장치/능력)에 의해 경직. 새로운 시스템은 기존 시스템의 이익 잠식.
  - ▶ 기존 소비자는 어떻게?
  - ▶ 새로운 시스템의 도입을 최대한 늦추어야!

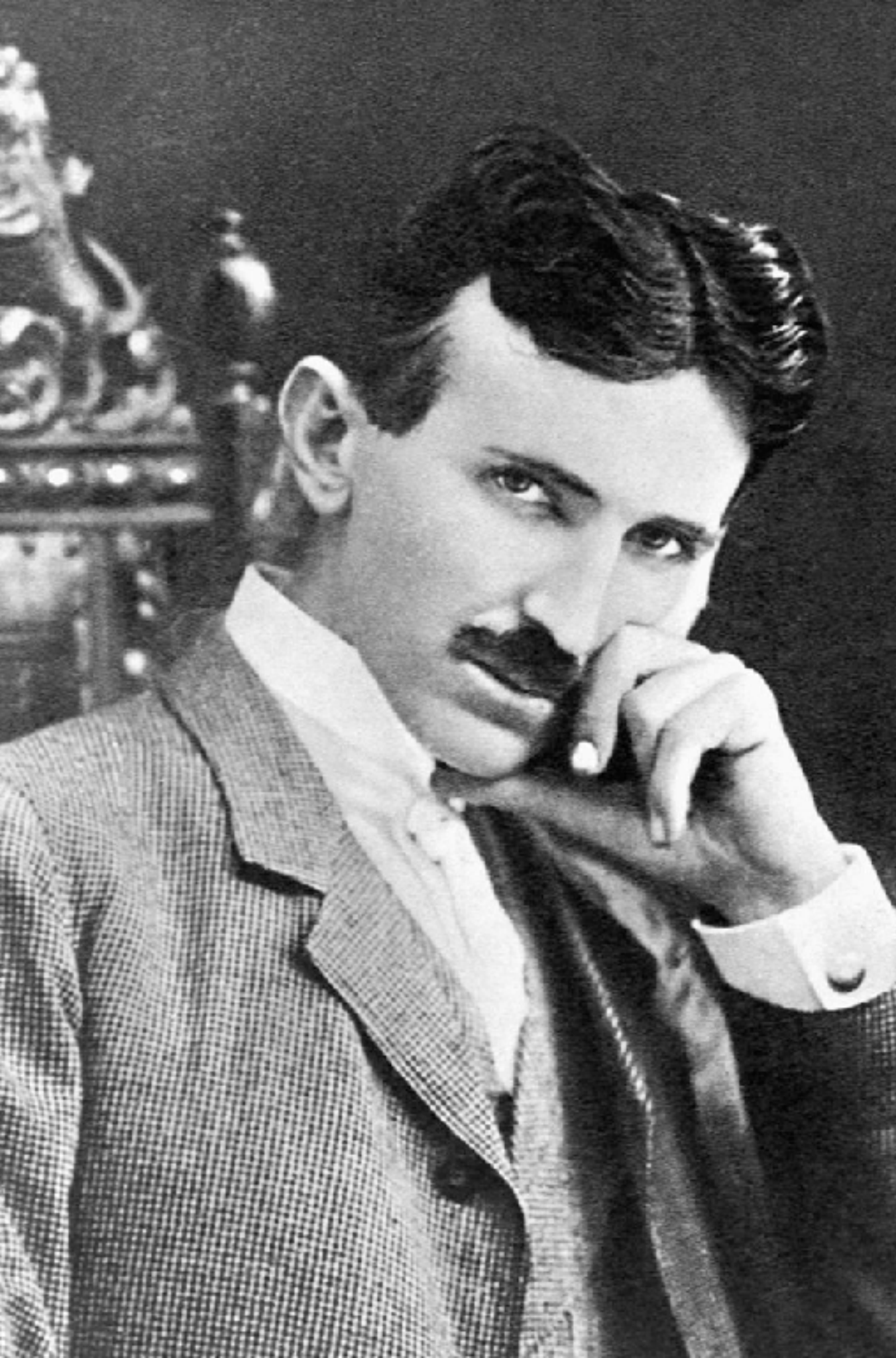


This Room Is Equipped With  
Tesla Alternating Current.

Resistance is immaterial. Simply  
plug appliances into the receptacles  
provided.



The use of alternating current is in no way harmful to  
health. Threats of electrocution are greatly exaggerated.



# 니콜라 테슬라

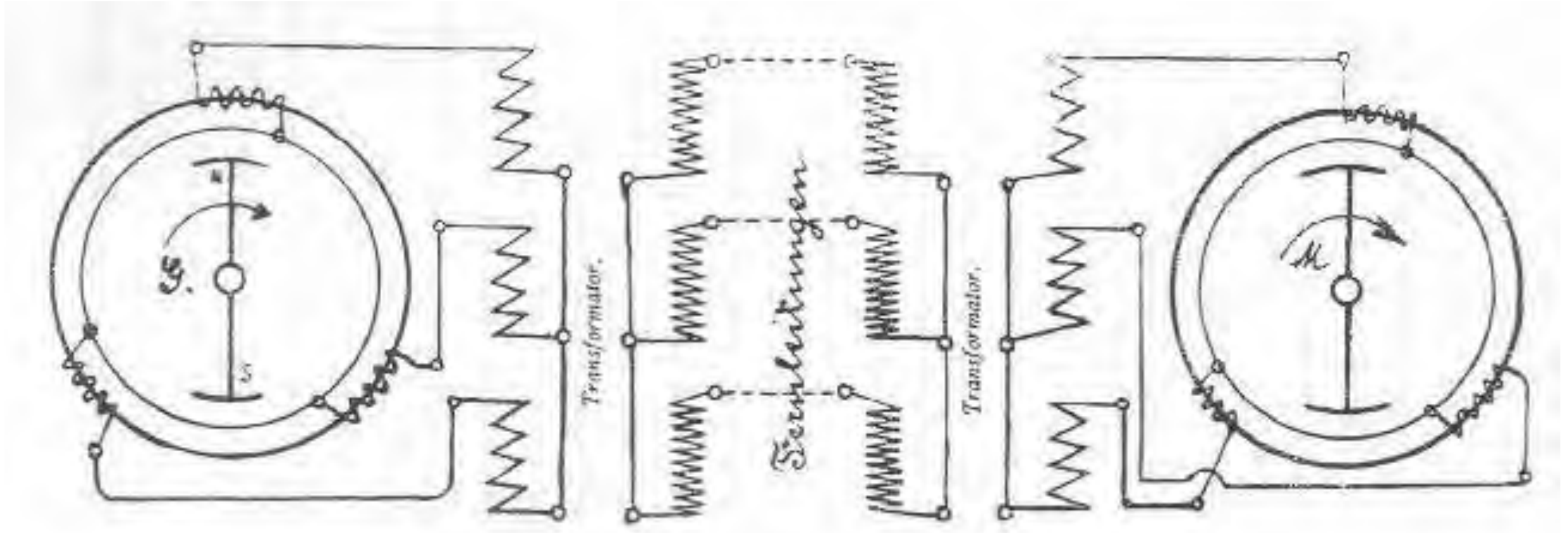
.....

- ▶ 세르비아 출신의 미국 엔지니어
- ▶ 에디슨 회사에서 잠시 일한 적이 있으나, 에디슨과의 갈등으로 회사에서 나옴(1882/84-1885)
- ▶ 테슬라 전기 전등 제조사를 설립한 후 파산. 정비사/막노동 전전(1886)
- ▶ 테슬라 전기 회사 설립(1887). 교류 시스템과 교류 전동기에 대한 여러 특허를 출원한 후 그 사용권을 웨스팅하우스 회사에 판매
- ▶ 웨스팅하우스의 기술 자문으로 잠시 고용되기도 함.
- ▶ 그렇다면 테슬라의 기여는?
  - ▶ 실질적인 교류 시스템의 설계자이자 대변인이자 상징



# “테슬라 다상 시스템”

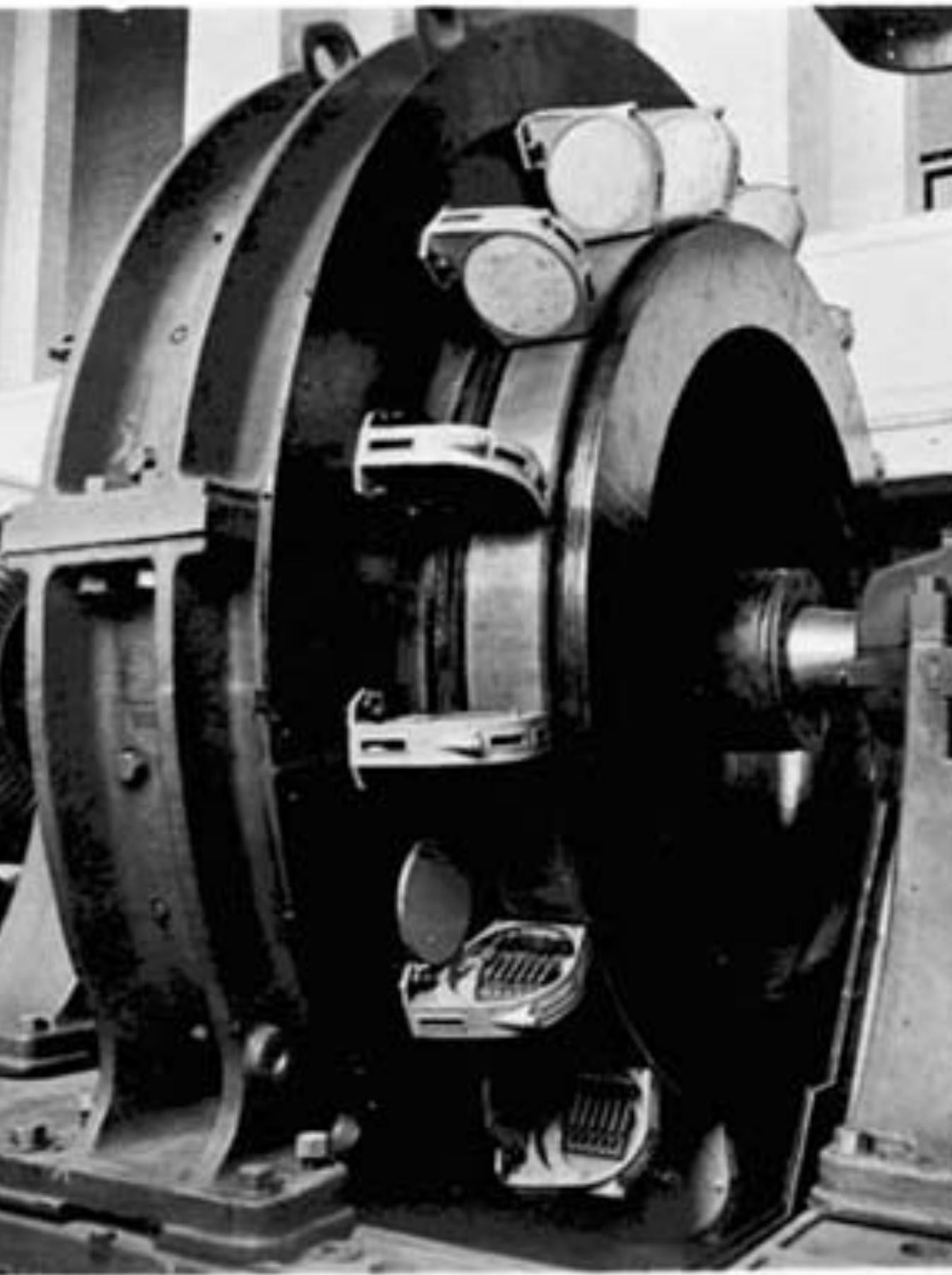
.....



다상 교류 발전 - 변압기 - 고압송전 - 변압기 - 다상 교류 모터

당시 교류 시스템이 안고 있던 문제 : 실용적 전동기의 부재

테슬라의 다상 교류 전동기와 다상 교류 발전기는 교류 시스템의 완성도를 높여줌  
웨스팅하우스는 최종 버전의 교류 시스템에 “테슬라 다상 시스템”이란 이름 붙임



Rotary Converter D.C. Em

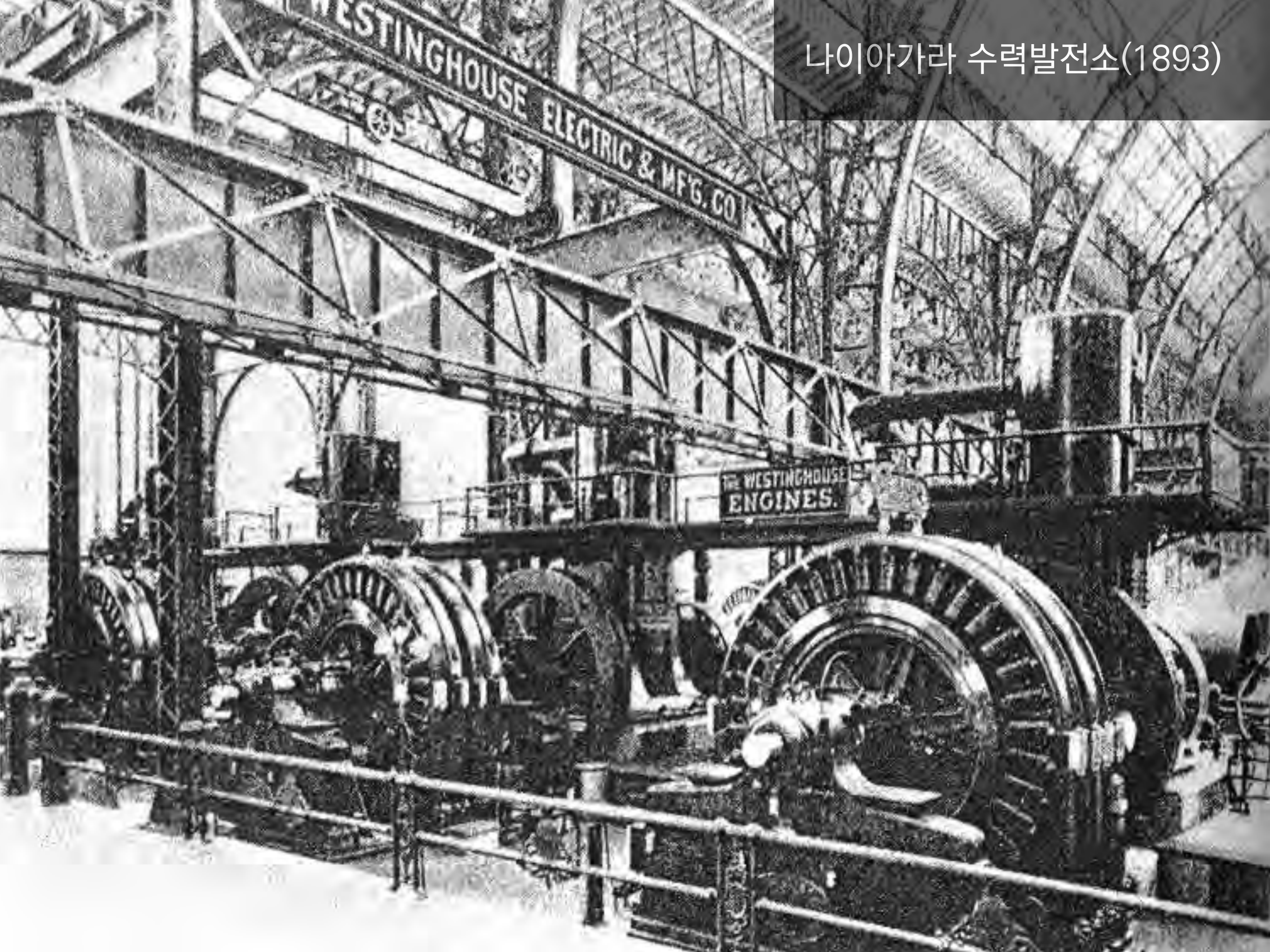
## 화해의 기술

.....

- ▶ 기존 직류 시스템의 모멘텀
  - ▶ 자본집약적 시스템은 해고 불가
  - ▶ 소비자들이 이미 구입한 직류 상품은? 버려야 하나?
- ▶ 교류-직류간 컨버터
  - ▶ 교류 발전-송전 후 최종 소비자는 직류로 전환 사용
- ▶ 합병 또는 특허 교환
  - ▶ 웨스팅하우스도 GE(에디슨회사의 후신)의 특허(전등, 도선 등) 필요, GE도 웨스팅하우스의 특허(교류 발전/송전/모터) 필요



나이아가라 수력발전소(1893)



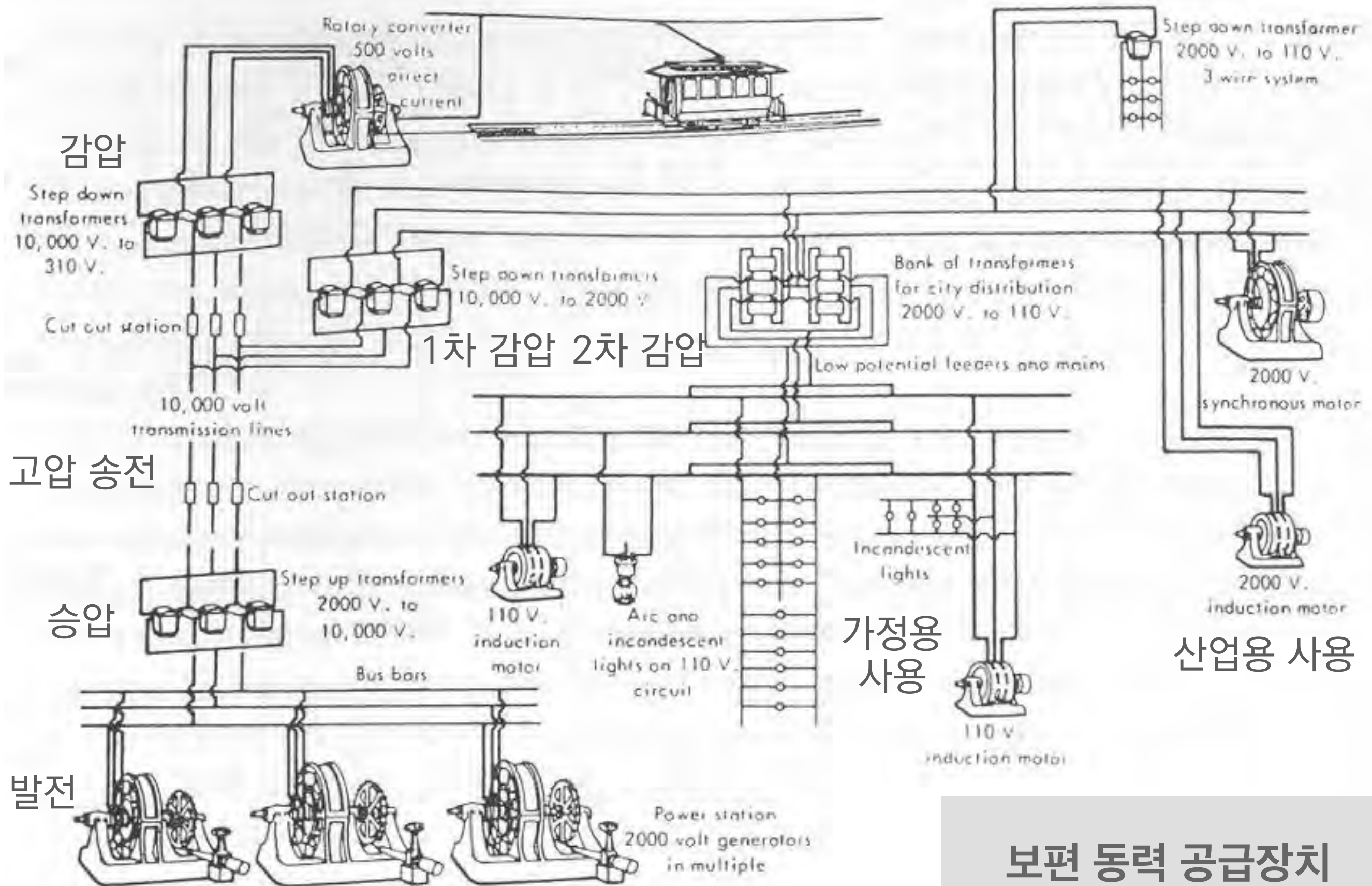


## 송전선

- ▶ 나이가아가라에서 뻗어나온 송전선
- ▶ 이 송전선은 도시에 도착한 후 여러 전압으로 변환되거나 직류로 전환되어 다양한 용도로 사용된다.



## 직류로 전환



보편 동력 공급장치